Photovoltaïque et Biodiversité



Etude Bibliographique & Retours d'Expérience

2019

calidris
expertises environnementales

energii SOLUTIONS
24, Chemin des bateliers
44300 NANTES
direction@energii-solutions.fr
06 80 01 83 77

VISIT…

LANZAROTE
Caliente.com

Introduction

La création de parcs photovoltaïques fait partie des stratégies européennes et nationales de lutte contre le changement climatique et la transition énergétique. La directive cadre européenne du 23 avril 2009 vise les 20% d'énergie d'origine renouvelable d'ici à 2020, 27% pour 2030. Cet objectif nécessite le doublement de l'énergie d'origine renouvelable consommée en Union Européenne par rapport à 2014 (**Arantegui & Jäger-Waldau, 2018**).

L'objectif national d'émissions de gaz à effet de serre est contenu dans la loi de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement. La lutte contre le changement climatique est annoncée comme une priorité avec comme engagement de diviser par 4 les émissions de gaz à effet de serre d'ici à 2050 (par rapport au niveau d'émission de 1990). *LOI n° 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement (1) – Article 2.I.*

En 2018, le Bilan électrique de RTE a permis de montrer un retard entre la capacité en énergies renouvelables installées et les objectifs : 8 527 MW installé pour un objectif de 10 000 MW.

La France a également pris, depuis la 1ère loi sur la protection de la nature, des mesures réglementaires visant à la protection de la biodiversité et des paysages. *LOI n° 76-629 du 10 juillet 1976 relative à la protection de la nature*. La loi pour la reconquête de la biodiversité vise à renforcer les objectifs de protection et institue un certain nombre de principes, auxquels les projets photovoltaïques, comme les autres projets soumis à évaluation environnementale, doivent répondre : absence

ARTICLE L110-1.II-2° du Code de l'Environnement

Le principe d'action préventive et de correction, par priorité à la source, des atteintes à l'environnement, en utilisant les meilleures techniques disponibles à un coût économiquement acceptable. Ce principe implique d'**éviter** les atteintes à la biodiversité et aux services qu'elle fournit ; à défaut, d'en **réduire** la portée ; enfin, en dernier lieu, de **compenser** les atteintes qui n'ont pu être évitées ni réduites, en tenant compte des espèces, des habitats naturels et des fonctions écologiques affectées ;

Ce principe doit viser un objectif **d'absence de perte nette de biodiversité**, voire tendre vers un gain de biodiversité ;

de perte nette de biodiversité voire gain de biodiversité, complémentarité, solidarité écologique, utilisation durable. *LOI n° 2016-1087 du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages*.

L'enjeu est donc de pouvoir répondre à la fois aux objectifs de la Programmation Pluriannuelle de l'Energie, aux objectifs d'absence de perte de biodiversité et aux engagements européens pris par la France.

Dans ce contexte, les installations photovoltaïques sont soumises à une évaluation environnementale, devant déterminer l'incidence du projet sur le milieu naturel, le milieu physique et le milieu humain. Cette évaluation permet d'appréhender les enjeux liés aux projets, et d'assurer leurs bonnes intégrations environnementales, sur l'ensemble des volets étudiés, sur un territoire donné.

SOMMAIRE

Introduction 2
Installations photovoltaïques 5
Etude bibliographique 7
1. INTRODUCTION 7
2. EFFETS DES INSTALLATIONS PHOTOVOLTAÏQUES SUR LA FAUNE 8
2.1. En phase de travaux 8
2.2. En phase d'exploitation 9
3. EFFETS DES INSTALLATIONS PHOTOVOLTAÏQUES SUR LES HABITATS ET LA FLORE 13
3.1. En phase de travaux 13
3.2. En phase d'exploitation 14
4. SYNTHESE 17
Exemples de mesures d'intégration environnementale 18
Bibliographie 20

INSTALLATIONS PHOTOVOLTAÏQUES

La technologie photovoltaïque consiste en la transformation du rayonnement solaire en courant électrique continu. Cette transformation est effectuée par des cellules, couplées en modules. Ces modules sont reliés via des câbles de raccordement et des onduleurs pour permettre de fournir un courant continu, lequel est injecté dans le réseau. La durée de vie estimée d'un module est de l'ordre de 25 ans.

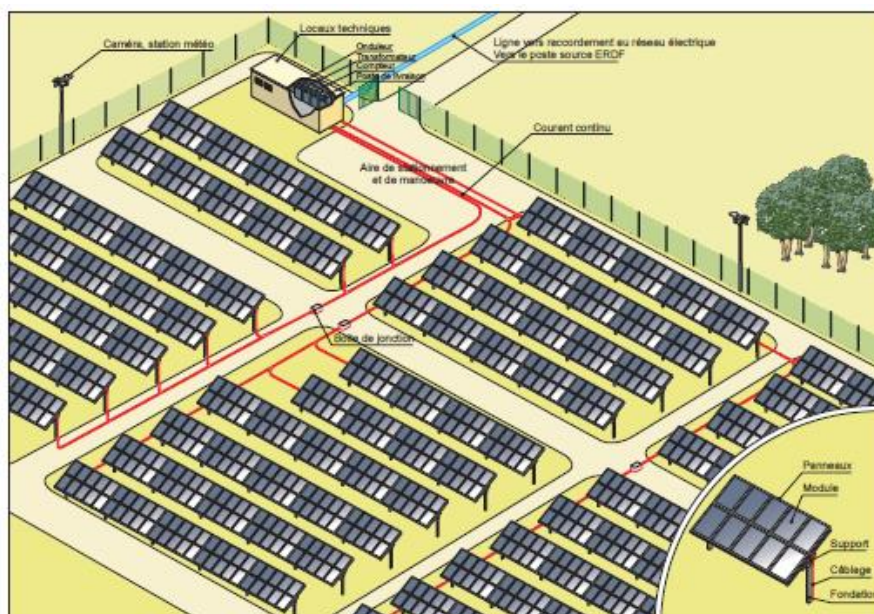
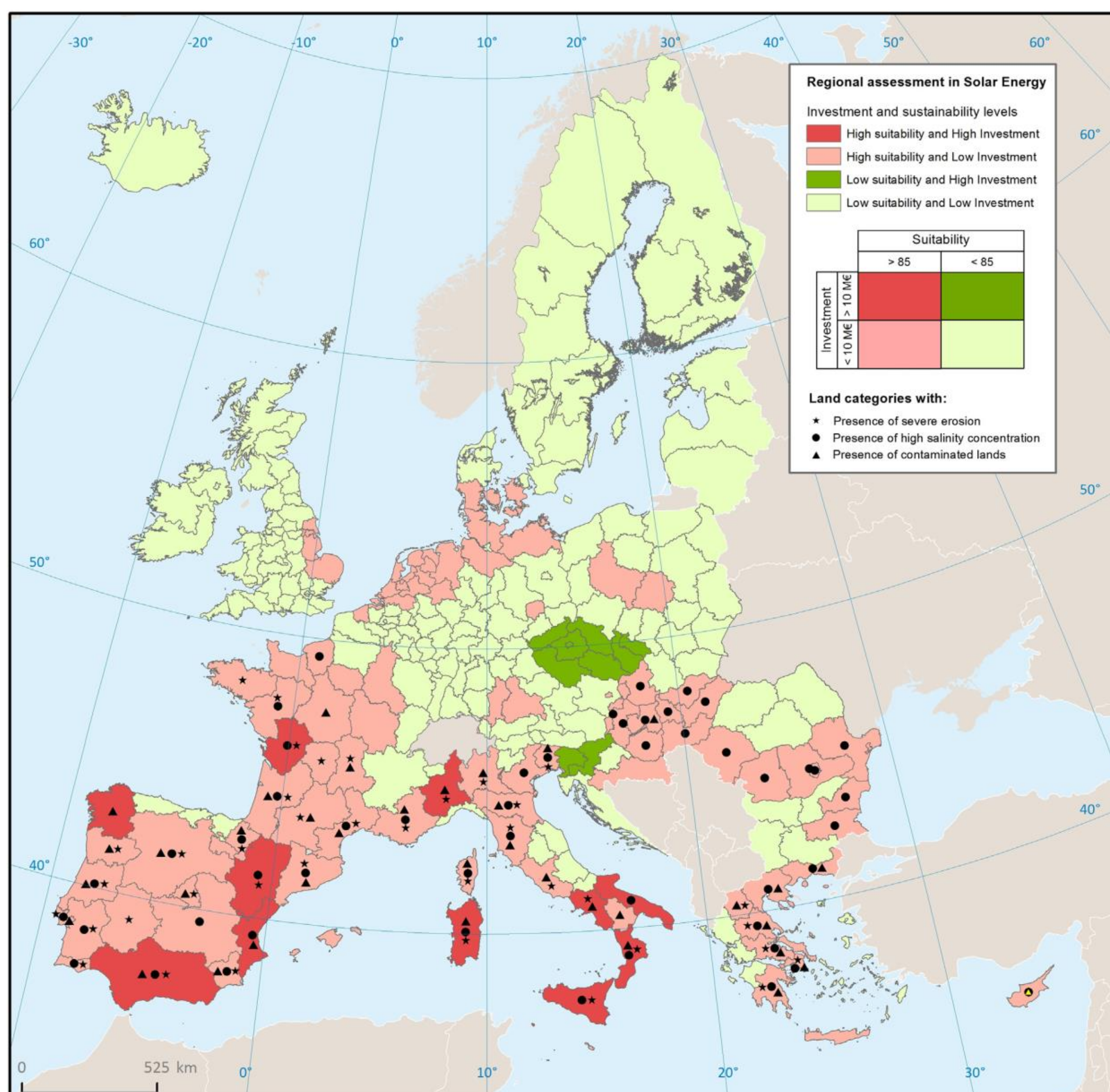


Figure 1 : Schéma type d'une installation photovoltaïque (**DGEC, 2011**)

2 types de technologies sont principalement utilisés : le silicium cristallin ou la technologie couches minces. Des cellules à concentration, organiques ou hybrides émergent actuellement sur le marché. La technologie au silicium cristallin est aujourd'hui celle présentant le meilleur rendement, mais dont le coût de production reste élevé comparativement à la technologie couches minces.

Les parcs photovoltaïques sont soumis à étude d'impact lorsque leur capacité dépasse les 250 kw (puissance crête) et/ou lorsque le coût du projet est supérieur à 1.900.000 €. *Article R122-8.I. et Article R122-8.II.16° du Code de l'Environnement.*



Carte 1 : Potentiel Solaire en Europe (***Perpiña Castillo et al.,2016***)

La France possède un potentiel solaire pouvant faire de cette technologie une source d'énergie renouvelable conséquente. Dans son étude sur le photovoltaïque, l'ADEME estime le potentiel national à 49 GW, seulement pour les zones délaissées (**ADEME, 2019**). Enerplan estime qu'il serait possible de raccorder jusqu'à 42 GW d'ici à 2028.

La montée en puissance de ce type de technologie nécessite donc un tour d'horizon, afin de mettre en lumière les effets sur la biodiversité de ces installations et de ressortir des bonnes pratiques à mettre en œuvre dans le cadre d'un projet photovoltaïque.

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Introduction

L'étude de la littérature scientifique, des différents guides et rapports sur le sujet permet de faire un tour d'horizon des connaissances actuelles quant aux effets des installations photovoltaïques sur les habitats, la flore et la faune. Il est important de souligner que peu d'études scientifiques sont menées spécifiquement sur les effets des fermes photovoltaïques, contrairement à l'énergie éolienne, ou de nombreuses études ont été conduites (**Northrup & Wittemyer, 2013 ; Hernandez *et al.*, 2014 ; Harrison *et al.*, 2016**). De plus, la littérature scientifique utilise parfois des données issues à la fois de fermes solaires et de centrales solaires thermodynamiques, dont les dimensions et la nature de projet sont différents.

L'analyse du cycle de vie complet du photovoltaïque a été effectuée et montre une **efficience supérieure en terme d'utilisation du sol et d'impact environnemental** pour les fermes solaires par rapport aux autres sources d'énergie, renouvelables ou non (**Fthenakis & Kim, 2009**). L'impact des unités photovoltaïques sur la consommation de terre et la modification des habitats est jugé minime par rapport à d'autres sources d'énergie (**Fthenakis & Kim, 2009 ; McDonald *et al.*, 2009 ; Hernandez *et al.*, 2014**).

Le guide de la Direction Générale de l'Energie et du Climat (DGEC) identifie 3 types de pressions liés aux projets photovoltaïques au sol : pressions durant la phase de travaux, durant la phase d'exploitation et pressions dues à l'installation photovoltaïque elle-même (**DGEC, 2009**). **Gasparatos *et al.* (2017)** ont relevés les différents types d'effets des installations photovoltaïques au sol à travers une revue globale des articles scientifiques, des suivis effectués sur certaines installations et des guides nationaux ou locaux sur la prise en compte de la biodiversité dans les installations photovoltaïques. Il en ressort 3 grands types d'effets :

- ✓ la perte et la fragmentation d'habitat,

- ✓ l'attraction ou le détournement des insectes ou d'une partie de la faune (avifaune, chiroptères) du fait de la polarisation de la lumière,
- ✓ la modification du microclimat au niveau des panneaux photovoltaïques.

Depuis quelques années, du fait du manque de suivi sur ces installations, notamment en Europe, plusieurs études post-installation ont été menées, avec différents objectifs. **Fluri (2009), Lovich et Enner (2011), Montag *et al.*, (2016),** montrent que le choix du site d'implantation, l'habitat et la biodiversité du site influencent l'impact que va avoir le projet photovoltaïque. Plusieurs études (**Tsoutsos *et al.*, 2005 ; Fluri, 2009 ; Gibson *et al.*, 2017**) ainsi que les orientations de la **DGEC (2011)** montrent **l'importance du site d'implantation**, et privilégient la mise en place de fermes solaires sur des sites déjà anthropisés et dont les enjeux liés à la biodiversité sont jugés faibles. Ainsi, la **DGEC (2011)** émet l'orientation suivante, pour le choix des sites d'implantation :

- ✓ **Préservation de la biodiversité** : éviter les sites protégés, protection des espaces agricoles, forestiers et naturels
- ✓ **Economie d'espace** : recherche de sites dégradés, à faible valeur agronomique et/ou en complément d'autres activités (pâturage,…)
- ✓ **Utilisation durable des sols** : pas d'utilisation de parcelles agricoles en cours d'exploitation
- ✓ Maîtrise du risque naturel
- ✓ Protection du paysage et du cadre de vie

Il en ressort donc 2 types de projets : les projets intégrés au monde agricole et les projets sur sites anthropisés/dégradés où l'exploitation solaire peut-être combinée à une remise en état du site.

2. Effets des installations photovoltaïques sur la faune

Les effets des installations photovoltaïques sur la faune dépendent à la fois du projet (nature, dimensions…) et du milieu (habitat, espèces présentes…).

2.1. En phase de travaux

Les potentiels effets sur la faune en phase de travaux sont liés aux espèces présentes, à leur sensibilité, ainsi que la période et les conditions dans lesquelles les travaux sont effectués. Lors des prospections de terrains, la connaissance des espèces présentes permet de déterminer un **calendrier adapté** pour minimiser le dérangement.

2.2. En phase d'exploitation

2.2.1. Grande Faune

L'étude de **Pointereau *et al.*, (2009)** pointe la création d'un espace entièrement clos, constituant une barrière pour la grande faune. Le **choix du type de clôture** peut permettre le passage de petite faune, mais exclu, par nature, l'ensemble de la grande faune.

Afin de faciliter le passage de la petite faune, des mailles plus larges sur la partie inférieure de la clôture sont conseillées.

SITE : VSB Energies, Mazaugues (83)


VSB Energies Nouvelles, 2010

Pour les sites déjà anthropisés, notamment les centre d'enfouissement, l'exclusion de la grande faune est déjà en place avant le projet puisque ce sont des sites déjà clôturés.

2.2.2. Avifaune

L'avifaune semble peu soumise à des effets directs dû aux installations photovoltaïques, bien qu'il y ai encore peu d'études complètes disponibles. Certaines études montrent même un effet positif sur l'avifaune.

Une étude, menée par **DeVault *et al.*, (2014)** aux Etats-Unis sur 5 sites d''implantation photovoltaïque auprès d'aéroports. Le but de cette étude était de connaître la possible influence de ces fermes solaires sur les populations d'oiseaux et donc sur le risque de collision avec les avions. La diversité spécifique observée sur les fermes photovoltaïques est moins élevée que sur des terrains similaires auprès d'aéroports, mais la densité observée est doublée au niveau des fermes photovoltaïques. Cette étude n'adopte cependant pas un point de vue biologique mais vise à connaître les potentiels impacts pour la sécurité dans l'aviation.

L'étude menée par **Wybo (2013)**, sur la sécurité aérienne et les fermes solaires montre une utilisation des fermes solaires comme **site de nidification et de reproduction**. Ce type de comportement est également rapporté par **Lamont et El Chaar (2011)**, sur des panneaux photovoltaïques aux Emirats-Arabes-Unis

L'émission de lumière polarisée par les panneaux photovoltaïques, a été étudiée : **Horváth *et al.*, 2010 & 2014 ; Gasparatos *et al.*, 2017** . La réflexion de la lumière semble être un des effets majeurs des installations photovoltaïques. Les surfaces polarisantes présentent un potentiel d'attraction pour les insectes, et donc indirectement sur l'avifaune, qui utilise ces sites pour le nourrissage (**Bernáth *et al.*, 2001**). Cet effet peut-être bénéfique, permettant l'accès à une source de nourriture pour les insectivores. Il a été démontré, par exemple, que les Bergeronnettes grises et printanières (*Motacilla alba* et *Motacilla flava*), utilisent les surfaces polarisantes anthropiques comme terrain de chasse (**Bernáth *et al.*, 2008**). Ce même auteur a constaté la prédation d'insectes (*Trichoptera*) sur les surfaces polarisantes par des Pies bavardes (*Pica pica*), Bergeronnettes grises (*Motacilla alba*), des Moineaux domestiques (*Passer domesticus*), ainsi que des Mésanges charbonnières (*Parus major*). L'effet négatif des surfaces polarisantes a été démontré pour des substances pouvant piéger l'avifaune comme la pollution par l'huile industrielle (**Bernáth *et al.*, 2001**). Dans le cas des panneaux photovoltaïques, il s'agit plutôt d'une **nouvelle zone de chasse disponible pour l'avifaune insectivore**, du fait de la concentration de la ressource trophique.

Des observations ont été faites d'oiseaux aquatiques ou limicoles auprès d'une installation photovoltaïque proche du canal Maine-Danube. Le site comportant une retenue d'eau, celle-ci est occupée par des oiseaux aquatiques. **Aucune confusion avec les panneaux photovoltaïques n'est montrée par l'étude : pas de détournement, ni d'attraction** (**DGEC, 2009**).

Walston *et al.*, (2016) ont étudié la mortalité de l'avifaune sur des installations solaires du Sud-Ouest de la Californie. Seuls 3 sites (de très grande ampleur) ont été étudiés, situés dans le Sud-Ouest de la Californie, dans des milieux désertiques. Cette étude montre une **mortalité de l'avifaune moins élevée pour les projets solaires que pour les autres constructions anthropiques** (bâtiments, routes, autres site de production d'énergie). L'étude permet de montrer que la mortalité de l'avifaune est jusqu'à 21 fois plus élevée sur les centrales solaires thermodynamiques que sur des fermes solaires photovoltaïques.

Dans le cas où l'implantation d'un parc photovoltaïque entraîne une forte modification de la structure de l'habitat, on assiste alors à un **changement du cortège d'espèces**. L'étude menée par **Visser (2016)** sur une ferme solaire en Afrique du Sud n'a pas montré de **différence significative entre la diversité observée sur le site d'implantation du projet et aux alentours de l'exploitation photovoltaïque**. Cependant, l'étude montre un changement dans la composition de la communauté d'oiseaux occupant le territoire : l'avifaune des fruticées et des boisements était moins représentée alors que c'est l'avifaune occupant les espaces ouverts prairiaux qui est favorisée sur le site accueillant les panneaux photovoltaïque. L'étude a également mis en lumière

l'utilisation des panneaux solaires comme perchoir chez le Crécerelle des rochers (*Falco rupicolus*) et comme site de nidification chez la Tourterelle maillée (*Spilopelia senegalensis*).

2.2.3. Chiroptères

Les effets des fermes photovoltaïques sur les chiroptères sont encore aujourd'hui peu étudiés. Contrairement à l'éolien où la mortalité est liée aux collisions et au barotraumatisme, les parcs solaires ne présentent pas ces caractéristiques et donc ne peuvent avoir ce type d'effet.

Comme pour l'avifaune, l'attraction des insectes polarotactiques par les surfaces des panneaux solaires peut avoir un effet positif, par concentration de la ressource trophique, créant un territoire de chasse et de nourrissage pour les chiroptères (**Bernáth et *al.*, 2001**).

Greif & Siemers (2010) ont mené une étude afin de connaître les capacités des chiroptères à reconnaitre un habitat et plus particulièrement les habitats aquatiques. Des surfaces lisses, mimant l'eau, ont été utilisées afin d'appréhender la réponse des chiroptères à ces surfaces. 6 individus de 4 espèces ont été étudiées : le Minioptère de Schreibers (*Miniopterus schreibersii),* le Murin de Daubenton *(Myotis daubentonii),* le Grand Murin (*Myotis myotis)* et le Grand Rhinolophe *(Rhinolophus ferrumequinum)*. L'ensemble des individus est issu d'élevage et n'a pas connu de conditions naturelles. L'expérience montre que tous les individus tentent à plusieurs reprises **d'utiliser la surface lisse comme lieu d'abreuvement**. L'étude a montré que l'écholocalisation est la principale modalité sensorielle déclenchant la reconnaissance de l'eau, même en présence d'autres informations contradictoires (olfactive, toucher, goût…). Dans le cas des panneaux photovoltaïques, il peut y avoir un risque que ceux-ci soient confondus avec des surfaces d'eau. Cependant, cette étude ne montre **pas de risque de collision avec les surfaces lisses**. L'hypothèse expliquant cette absence de risque de collision serait l'inclinaison des panneaux photovoltaïques.

En conditions naturelles, une étude similaire a été menée par **Russo et *al.*, (2012)**. L'expérience a consisté à mettre des surfaces lisses artificielles sur des étendues d'eau. Comme l'expérience ci-dessus, des comportements d'abreuvement ont été observé mais l'échec conduit les chiroptères à ne plus utiliser ce site comme lieux d'abreuvement. **Aucune collision n'a été observée.**

2.2.4. *Insectes*

L'effet des panneaux solaires sur les insectes est principalement dû à la réflexion de la lumière que ceux-ci entrainent. Les insectes utilisant la lumière polarisée pour repérer des surfaces humides (comme les Ephéméroptères, Plécoptères, Trichoptères…) ont tendance à être attirés par les surfaces réfléchissantes. L'attractivité de ces surfaces entraine une mortalité due à la **déshydratation et à un échec de reproduction** (**Horváth *et al.*, 2014**).

De plus, la pollution par la lumière polarisée entraine chez les insectes aquatiques, un comportement conduisant à déposer leurs œufs sur des surfaces polarisantes même lorsque des surfaces d'eaux sont disponibles à proximité (**Kriska *et al.*, 1998**).

Cet effet peut-être réduit par l'utilisation d'antireflets poreux, qui permet, notamment chez les Tabanidés, de réduire l'attractivité des panneaux solaires. Cependant, l'effet est inverse chez les Ephèmeroptères (**Száz *et al.*, 2016**). L'antireflet poreux a un effet positif en réduisant la durée et la quantité de lumière polarisée au cours de la journée.

A contrario, **Suuronen *et al.*, (2017)**, parle de **fonction de refuge** pour les centrales solaires pour les Araignées, Coléoptères, Diptères et Hyménoptères. Cette fonction de refuge pourrait être permise par la création de différents micro-habitats au niveau des installations solaires, l'absence de traitements phytosanitaires et une gestion écologique du milieu.

Dans l'ensemble, on pourrait observer, comme pour l'avifaune, un changement du cortège d'espèces, du à la modification de la structure de l'habitat.

2.2.5. *Conclusion*

L'effet des fermes photovoltaïques sur la faune nécessite 2 points de vigilance : la phase de travaux et la phase d'exploitation. De façon globale, la composition des cortèges d'espèces d'un site est dépendante à la fois de facteurs abiotiques et biotiques, du passé du site, du type de technologie installée, et de la gestion du site. Par conséquent, les effets attendus sur la faune ne seront pas les mêmes.

Bien que les projets photovoltaïques doivent limiter un maximum l'impact des travaux et de l'installation du projet sur le milieu, de par sa nature, l'installation entrainera des modifications des conditions abiotiques et biotiques. Ces nouvelles conditions peuvent être favorables à certains taxons (Avifaune, Chiroptères, Hyménoptères…) mais défavorables à d'autres (Ephemeroptères, Trichoptères…). L' étude menée par **Suuronen *et al.*, (2017)** sur les arthropodes n'a pas réussi à

montrer de corrélation entre les nouvelles conditions abiotiques créées par les panneaux solaires et la distribution spatiale des espèces, bien que la création d'un microclimat ai été prouvée.

3. Effets des installations photovoltaïques sur les habitats et la flore

Plusieurs études ont été menées afin de connaître l'influence des fermes solaires sur la composition de la végétation et les services écosystémiques associés à la végétation. Tout comme pour la faune, nous distinguerons 2 phases, où les effets ne sont pas identiques : la phase de travaux et la phase d'exploitation.

3.1. En phase de travaux

La phase de travaux a principalement 2 effets : la perturbation du sol et la destruction de la végétation.

Selon le type de végétation, la nature du sol et la manière dont les travaux se déroulent, la phase de travaux a un impact variable. Le passage d'engin pour la mise en place de l'installation peut créer une forte perturbation, augmentant le risque d'érosion du sol (**Wu *et al.*, 2014**). Ce risque peut-être maîtrisé avec un calendrier de travaux, ainsi que des structures portantes et fondations adaptées à chaque site.

Afin de faciliter la reprise de la Lande humide à Molinie (*Molinia caerulea*) et la Lande humide mixte à Molinie (*Molinia caerulea*) et Fougère aigle (*Pteridium aquilinum*), un parcours obligatoire à destination des engins de chantier a été appliqué ainsi qu'un gyrobroyage.
Ces mesures ont permis la reprise et le bon état de conservation des landes humides, 2 ans après les travaux.

SITE : VALOREM, Sainte-Hélène (33)


VALOREM, 2016

Le risque majeur, identifié par plusieurs suivis post-implantation, est **l'arrivée d'espèces exotiques envahissantes**, du fait de passage d'engins et de la perturbation des sols (**Gelbard et Belnap, 2003**).

L'implantation d'espèces exotiques envahissantes peut être maitrisée par un lavage des engins utilisés sur le site lors des travaux. Une surveillance à la suite des travaux permet d'éliminer ces espèces avant une installation de trop grande ampleur, difficile à contrôler.

Le suivi des espèces exotiques envahissantes doit être mis en place dès les travaux et se poursuivre au cours des premières années, selon le type de milieu, pour prendre des mesures adaptées avant une implantation trop importante des envahissantes. Ici, une partie du site est envahi par le Séneçon du Cap (*Senecio inaequidens*).

SITE : VSB Energies, Mazaugues (30)



La cartographie des habitats et de la végétation présente préalablement au projet permet de déterminer les zones à conserver et de définir des préconisations de travaux afin de maintenir ou de permettre une reprise rapide de la végétation. La prise en compte de la nature du sol et de l'écologie du couvert végétal permet d'adapter les phases de travaux afin de permettre un maintien voire une amélioration de l'état de conservation de la végétation.

3.2. En phase d'exploitation

Une fois la ferme solaire implantée, les effets sur la végétation varient selon le type de site. Dans le guide du **BRE National Solar Centre (2013)**, il est souligné que ces sites, où la présence humaine fortement limitée lors de l'exploitation, **présentent une opportunité pour la conservation et l'amélioration de la biodiversité**. Ce guide donne également des pistes pour intégrer ces projets dans des projets de conservation de la flore et l'inclusion dans les schémas de trames vertes et bleues.

Moore-O'Leary *et al.*, (2017) a effectué une revue de l'ensemble des effets des installations photovoltaïques au sol. Ainsi, sont dégagés des grands concepts de gestion écologique à prendre en compte dans la gestion des parcs photovoltaïques. Il est montré la nécessité de prise en compte à long terme du changement d'occupation du sol et des habitats, entrainant une modification du cortège d'espèces.

La **DGEC (2009)** distingue, pour la flore et les habitats, 2 types de projets : les projets installés sur des parcelles à vocation agricole et les projets installés sur d'anciennes friches industrielles. En fonction des sites, les effets et les mesures de gestion diffèrent selon ces grands types de projet.

Dans le cas d'implantation sur des parcelles agricoles, il a été observé une **augmentation significative de la diversité floristique**, lorsque les parcelles étudiées étaient dédiées auparavant à une agriculture intensive (**Parker et McQueen, 2013 ; Montag *et al.*, 2016**).

Une étude, menée par **Armstrong *et al.*, (2016)** sur un parc solaire au Royaume-Uni a étudié le microclimat, la végétation, les échanges gazeux et la pédologie en comparant des quadrats sous les panneaux photovoltaïques, entre les panneaux et à plus de 7 mètres de tout panneaux. Ce site étant implanté dans une ancienne prairie agricole, des mélanges de semences ont été plantées durant les 3 premières années d'exploitation du site. L'étude a permis de montrer une différence significative entre le microclimat sous les panneaux solaires et les témoins avec des températures au sol en moyenne inférieures de 5.2°C et une plus forte variation de la température de l'air. **La composition floristique ne subit pas de différences significatives** mais la biomasse végétale est 4 fois moins importante sous les panneaux.

La création de microclimats au niveau des panneaux photovoltaïques est un effet relevé dans l'étude de **Gibson *et al.*, (2017).** Celui-ci souligne cependant que l'impact dépendant du milieu, il peut être positif ou négatif. L'effet peut-être négatif si la flore est héliophile (avec des besoins d'ensoleillement fort) et xérophile (adaptée à des milieux très pauvres en eau), les panneaux photovoltaïques créant des zones d'ombre et de concentration d'eau (**Tanner *et al.*, 2014**).

Cependant, la création de microclimats n'est pas obligatoire et dépend du type d'installation (panneaux rotatifs ou non) et de la hauteur au sol. **Semeraro *et al.*, (2018)** montrent une **absence de différence significative** entre la température au sol au niveau des panneaux photovoltaïques et le témoin, pour des panneaux rotatifs et installés à plus de 1.50 m du sol. La hauteur au sol apparait donc comme un critère déterminant, une **hauteur minimale au sol de 0.80 m** étant conseillée (**DGEC, 2011**).

Semeraro *et al.*, (2018) ont déterminé des types de végétation à implanter sur ces anciens terrains agricoles, plutôt pauvres en espèces, pour permettre la création de patch plus favorables aux pollinisateurs. L'étude propose d'implanter, sur ces anciens terrains agricoles, au niveau des panneaux solaires, des mélanges de Fabacées rampantes et à faible hauteur de croissance (*Trifolium sp., Medicago stavia…*). Ces mélanges sont à la fois adaptés à une gestion extensive par pâturage et permettent de créer des **zones favorables aux pollinisateurs**.

Walston *et al.*, (2018) ont mis en relation les services rendus par les pollinisateurs et les zones présentant des fermes solaires aux Etats-Unis. En retirant ces espaces à une activité anthropique potentiellement négative pour la flore, on constate la création de sites « solaire-habitat pour pollinisateurs ». Selon les types de végétation établis, il est possible d'inclure une diversité et une connectivité de l'habitat d'espèces rares ou en péril. Ainsi, il a été créé, dans le Minnesota, 90 hectares d'habitats favorables aux pollinisateurs et correspondant à l'écosystème naturellement présent.

Dans le cas de sites anciennement anthropisés (anciennes installations de stockage de déchets, friches industrielles…) l'implantation de parcs photovoltaïques peut apparaître comme une **opportunité de conservation et d'amélioration de la flore et de la faune associée** (**BRE National Solar Centre, 2013 ; Gibson *et al.*, 2018 ; Walston *et al.*, 2018**). **Tsoutsos *et al.*, (2005)** soulignent la possibilité, grâce aux fermes photovoltaïques, de **remise en état de terres dégradées**.

Certains couverts végétaux, notamment les boisements âgés sont à éviter, ceux-ci ayant une forte capacité de séquestration du carbone, supérieure à l'évitement d'émission induit par l'installation d'un parc photovoltaïque (**De Marco *et al.*, 2014**).

4. Synthèse

Globalement, les effets induits par les fermes photovoltaïques sont encore peu appréhendés et suivis. Lorsque le projet met en place des mesures d'intégration environnementales suffisante, celui-ci peut permettre la restauration d'un milieu et, à terme, l'augmentation de la biodiversité.

Le passage en revue des différentes études scientifiques et retours d'expérience montrent qu'une vigilance particulière doit être portée à la phase de travaux : adaptation du calendrier des travaux selon le cortège d'espèces présentes, adaptation du matériel utilisé lors des travaux, vigilance sur les espèces exotiques envahissantes.

Lors de l'exploitation, l'effet sur la faune relève surtout de la création d'un espace clos, limitant l'accès au site à la seule petite faune. Sur l'avifaune et les chiroptères, la collision ne semble pas un risque d'après la littérature. La concentration d'insectes, du fait de l'attraction des panneaux, peut même créer un territoire de chasse intéressant pour l'avifaune et les chiroptères. L'effet sur les habitats et la flore est fortement dépendante du type de milieu. Les mesures de gestion de la flore doivent être adaptée, selon le type de milieu et selon son évolution.

L'implantation sur des sites dégradés, accompagnée de mesures de gestion différenciées de la flore permettent, dans la plupart des cas, une amélioration de l'état de conservation et de la diversité floristique du site. En effet, l'amélioration de l'état de conservation et le maintien de mosaïques d'habitats permet, l'attractivité des sites photovoltaïques pour les insectes et à terme, pour l'avifaune et les chiroptères.

L'intégration des projets photovoltaïque dans les trames vertes et bleues, à travers l'étude du SRCE (Schéma Régional de Cohérence Ecologique), permet d'analyser et de repérer des sites potentiels, n'influençant pas négativement la cohérence locale des trames vertes et bleues. Le SRCE permet de cartographier les grandes continuités écologiques terrestres et aquatiques, ainsi que les zones dites « réservoirs », où la biodiversité est jugée plus riche. L'analyse de ces SRCE, en amont du projet, permet notamment de repérer des réservoirs, des corridors et des éléments fragmentant. Cette analyse permet au porteur de projet de déterminer le maintien ou non de certains habitats pour permettre une meilleure continuité localement. En dehors de la grande faune, exclue des parcs photovoltaïques, ceux-ci permettent le déplacement des espèces.



EXEMPLES DE MESURES D'INTEGRATION ENVIRONNEMENTALE

Afin de permettre une meilleure prise en compte de la faune, la flore et des habitats, certaines mesures d'intégration environnementales paraissent nécessaires. Ces mesures sont issues de retours d'expériences, d'études d'impacts et de la littérature scientifique. Chaque site d'étude ayant ses particularités, il est nécessaire d'adapter ces mesures selon l'état initial, conduit sur le terrain, préalablement au projet.

Pendant l'exploitation du parc photovoltaïque, la gestion de la flore et des habitats est le principal levier de gestion environnementale. En effet, la présence d'une mosaïque d'habitats, en bon état de conservation, permet à ceux-ci d'accueillir la faune associée.

La réouverture de parcelles sur la rive droite du Rhône pour la création d'un parc photovoltaïque à Ozon a permis :

- l'arrêt de la colonisation par les Robiniers (*Robinia pseudoacacia*),
- le rajeunissement de la ripisylve, en faveur du Castor (*Castor fiber*).

Suite aux travaux, le site a été réensemencé avec des espèces végétales locales. 3 ans après l'implantation on constate une **augmentation de la diversité et des effectifs** d'oiseaux, lépidoptères et orthoptères. La végétation est gérée par fauche tardive.

Selon l'évolution du couvert végétal, un pâturage est envisagé.



SITE : CNR, Arras sur Rhône (07)

La réouverture d'un milieu, avec un entretien extensif, permet de contrer la tendance générale de disparition des milieux ouverts non intensifiés. Pour permettre un bon état de conservation de ces milieux, la gestion de la fauche ou du pâturage doit être adaptée à chaque site.

L'intégration et la gestion écologique d'un site photovoltaïque doit être mesurée pour permettre d'adapter la gestion à un environnement évolutif. Ainsi, les suivis de la faune et des habitats après l'implantation du site permettent de mesurer les effets réels des fermes solaires et d'adapter leur gestion.

Suivis ornithologiques sur des parcs photovoltaïques implantés au Pla de la Roque et la Calade (Aude).

Site implanté le long de l'autoroute A9, dans une ancienne carrière. L'état initial a soulevé des enjeux vis-à-vis du maintien des habitats ouverts et de l'avifaune nicheuse. Un suivi de l'avifaune est mis en place depuis 2012. Les suivis ont montré entre 2012 et 2015 une augmentation des effectifs et de la présence d'espèces patrimoniales, les nicheurs diurnes passant de 105 individus (20 espèces) en 2012 à 139 (25 espèces) en 2015.

Le site accueille notamment du Cochevis de Thékla (*Galerida theklae*). Des mesures en faveur de l'Aigle de Bonelli (*Aquila fasciata*) ont également été prise, du fait de la présence d'un couple nicheur dans le secteur d'implantation. Celui-ci n'a pas été vu sur site, malgré l'ouverture du milieu qui lui est favorable.

SITE : QuadranPla de la Roque et la Calade (11)

De manière générale, l'étude complète des Habitats, de la Flore et de la Faune permet de mesurer les effets attendus par un projet photovoltaïque. L'intégration environnementale, par des mesures de gestion des habitats, de prévention sur les espèces exotiques envahissantes et sur les espèces sensibles, ainsi que l'évitement de certains impacts, permet, selon les sites, le maintien voire l'amélioration des habitats et des cortèges d'espèces associées.

Bibliographie

Arantegui, R.L., et A. Jäger-Waldau. « Photovoltaics and wind status in the European Union after the Paris Agreement ». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 81 (2018): 2460-71. http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.052.

Armstrong, A., N.J. Ostle, et J. Whitaker. « Solar park microclimate and vegetation management effects on grassland carbon cycling ». *Environmental Research Letters* 11 (2016): 11.

Bernáth, B., György Kriska, B. Suhai, et Gábor Horváth. « Wagtails (Aves: Motacillidae) as insect indicators on plastic sheets attracting polarotactic aquatic insects ». *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, Hungarian Natural History Museum, Budapest, 54, n° 1 (2008): 145-55.

Bernáth, B., G. Szedenics, G. Molnár, G. Kriska, et G. Horváth. « Visual Ecological Impact of a Peculiar Waste Oil Lake on the Avifauna: Dual-Choice Field Experiments with Water-Seeking Birds Using Huge Shiny Black and White Plastic Sheets ». *Archives of Nature Conservation and Landscape Research* 40, n° 1 (2001): 1-28.

Blahó, Miklós, Ádám Egri, András Barta, Györgyi Antoni, György Kriska, et Gábor Horváth. « How can horseflies be captured by solar panels? A new concept of tabanid traps using light polarization and electricity produced by photovoltaics ». *Veterinary Parasitology* 189, n° 2 (26 octobre 2012): 353-65. https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2012.04.016.

Capellán-Pérez, I., C. de Castro, et I. Arto. « Assessing vulnerabilities and limits in the transition to renewable energies: Land requirements under 100% solar energy scenarios ». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 77 (2017): 760-82. http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.137.

Chiabrando, R., E. Fabrizio, et G. Garnero. « The territorial and landscape impacts of photovoltaic systems: Definition of impacts and assessment of the glare risk ». *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, n° 13 (2009): 2441-51.

Commissariat général au développement durable. « Évaluation environnementale - Guide d'aide à la définition des mesures ERC », 2018. https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/Th%C3%A9ma%20-%20Guide%20d%E2%80%99aide%20%C3%A0%20la%20d%C3%A9finition%20des%20mesures%20ERC.pdf.

De Marco, A., I. Petrosillo, T. Semeraro, M.R. Pasimeni, R. Aretano, et G. Zurlini. « The contribution of Utility-Scale Solar Energy to the global climate regulation and its effects on local ecosystem services ». *Global Ecology Conservation* 2 (2014): 324-37. http://dx.doi.org/10.1016/j.gecco.2014.10.010 2351-9894.

DeVault, Travis L., Thomas W. Seamans, Jason A. Schmidt, Jerrold L. Belant, Bradley F. Blackwell, Nicole Mooers, Laura A. Tyson, et Lolita Van Pelt. « Bird use of solar photovoltaic installations at US airports: Implications for aviation safety ». *Landscape and Urban Planning* 122 (1 février 2014): 122-28. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.11.017.

Dortel, F., et J. Geslin. « Liste des plantes vasculaires invasives des Pays de la Loire. Liste 2015. » DREAL Pays de la Loire. Brest : Conse rvatoire botanique national de Brest, 2016.

Fthenakis, V., et H.C. Kim. « Land use and electricity generation : a life-cycle analysis ». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13, n° 6-7 (2009): 1465-74.

Gallai, N., J.M. Salles, J. Settele, et B.E. Vaissière. « Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline ». *Ecology Economy* 3, n° 68 (2009): 810-21.

Gasparatos, A., C.N.H. Doll, M. Esteban, A. Ahmed, et T.A. Olang. « Renewable energy and biodiversity: Implications for transitioning to a Green Economy ». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 70 (2017): 161-84.

Gibson, L., E.N. Wilman, et W.F. Laurance. « How green is "green" energy ? » *Trends in Ecology & Evolutions* 32, n° 12 (2017): 922-35.

Grippo, M., J.W. Hayse, et B.L. O'Connor. « Solar Energy Development and Aquatic Ecosystems in the Southwestern United States: Potential Impacts, Mitigation, and Research Needs ». *Environmental Management* 55 (2015): 244-56. https://doi.org/10.1007/s00267-014-0384-x.

Guerin, T. « A case study identifying and mitigating the environmental and community impacts from construction of a utility-scale solar photovoltaic power plant in eastern Australia ». *Solar Energy* 146 (2017): 94-104. http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2017.02.020 0038-092X/.

———. « Evaluating expected and comparing with observed risks on a large-scale solar photovoltaic construction project: A case for reducing the regulatory burden ». *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, 333-48. http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.040.

Harrison, C., H. Lloyd, et C. Field. « Evidence review of the impact of solar farms on birds, bats and general ecology ». Manchester, UK: Nature England, Manchester Metropolitan University, 2017.

Hernandez, R.R., S.B. Easter, M.L. Murphy-Mariscal, F.T. Maestre, M. Tavassoli, E.B. Allen, C.W. Barrows, et al. « Environmental impacts of utility-scale solar energy ». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 29 (2014): 766-79.

Horváth, G., G. Kriska, P. Malik, et B. Robertson. « Polarized light pollution: a new kind of ecological photopollution ». *Frontiers in Ecology and the Environment* 7, n° 6 (2009): 317-25.

Horváth, Gábor, Miklós Blahó, Ádám Egri, György Kriska, István Seres, et Bruce Robertson. « Reducing the Maladaptive Attractiveness of Solar Panels to Polarotactic Insects ». *Conservation Biology* 24, n° 6 (1 décembre 2010): 1644-53. https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2010.01518.x.

Lamont, Lisa A., et Lana El Chaar. « Enhancement of a stand-alone photovoltaic system's performance: Reduction of soft and hard shading ». *Renewable Energy* 36, n° 4 (1 avril 2011): 1306-10. https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.09.018.

Marion, Benoît. « Impact du pâturage sur la structure de la végétation : Interactions biotiques, traits et conséquences fonctionnelles ». Université de Rennes 1, 2010.

McDonald, R.I., J. Fargione, J. Kiesecker, W.M. Miller, et J. Powell. « Energy sprawl or energy efficiency: climate policy impacts on natural habitat for the USA ». *PLoS ONE* 4, nº 8 (2009): 11.

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire. « Guide sur la prise en compte de l'environnement dans les installations photovoltaïques au sol : l'exemple allemand ». MEEDDAT - Direction Générale de l'Énergie et du Climat, 2009. http://www.photovoltaique.info/IMG/pdf/guide_du_MEDDAAT_aspect_environnementale.pdf.

Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement. « Guide de l'étude d'impact des installations photovoltaïques au sol », 2011. http://www.natura2000.fr/sites/default/files/references_bibliographiques/07_guide_ein2000_photovoltaique.pdf.

Montag, H., G.E. Parker, et T. Clarkson. « The effects of solar farms on local biodiversity ; a comparative study. » Clarkson and Woods & Wychwood Biodiversity, 2016.

Moore-O'Leary, K.A., R.R. Hernandez, D.S. Johnston, S.R. Abella, K.E. Tanner, A.C. Swanson, J. Krietler, et J.E. Lovich. « Sustainability of utility-scale solar energy – critical ecological concepts ». *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2017, 10.

Moreira, F. « Love me, love me not : perceptions on the links between the energy sector and biodiversity conservation ». *Energy Research & Social Science*, nº 51 (2019): 134-37.

Murphy-Mariscal, M., S.M. Grodsky, et R.R. Hernandez. « Solar Energy Development and the Biosphere ». In *A Comprehensive Guide to Solar Energy Systems*, Academic Press., 391-405. California, USA: Letcher, T.M. & Fthenakis, V.M., 2018.

Natural England. « Solar parks : maximizing environmental benefits ». Natural England, 2011.

Northrup, J.M., et G. Wittemyer. « Characterising the impacts of emerging energy development on wildlife, with an eye towards mitigation ». *Ecology Letters* 16, nº 1 (2013): 112-25. https://doi.org/doi:10.1111/ele.12009.

Ollerton J., Winfree R., et Tarrant S. « How many flowering plants are pollinated by animals ? » *Oikos* 3, nº 120 (2011): 321-26.

Parker, G.E. « Biodiversity Guidance for Solar Developments ». BRE National Solar Centre, 2014.

Parker, G.E., et C. McQueen. « Can Solar Farms Deliver Significant Benefits to Biodiversity? Preliminary Study July-August 2013 ». Wychwood Biodiversity & Rowsell and McQueen, 2013.

Pearce-Higgins, J.W., R.E. Green, et R. Green. *Birds and Climate Change: Impacts and Conservation Responses*. Ecology, Biodiversity and Conservation. Cambridge University Press, 2014. https://books.google.fr/books?id=ySOjAwAAQBAJ.

Perpiña Castillo, C., F.B. e Silva, et C. Lavalle. « An assessment of the regional potential for solar power generation in EU-28 ». *Energy Policy* 88 (2016): 86-99. http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2015.10.004.

Potts, S.G., et al. « Safeguarding pollinators and their values to human well-being ». *Nature*, nº 540 (2016): 220-29.

REN21. « Highlights 2018: Renewable 2018 global status report. » Paris, France: REN21 Secretariat, 2018.

RTE. « Bilan électrique 2018 ». Paris, France: RTE Direction innovation et données, 2019.

Russo, D., L. Cistrone, et G. Jones. « Sensory Ecology of Water Detection by Bats: A Field Experiment ». *PLoS ONE* 7, nº 10 (2012): 9.

Sánchez-Pantoja, N., R. Vidal, et M.C. Pastor. « Aesthetic impact of solar energy systems ». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 98 (2018): 227-38. https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.09.021.

Scottish Natural Heritage. « Guidance Natural heritage considerations for solar photovoltaic installations ». Scottish Natural Heritage, 2017.

Semeraro, T., A. Pomes, C. Del Giudice, D. Negro, et R. Arenato. « Planning ground based utility scale solar energy as green infrastructure to enhance ecosystem services ». *Energy Policy*, nº 117 (2018): 218-27.

Stoms, D.M., S.L. Dashiell, et F.W. Davis. « Siting solar energy development to minimize biological impacts ». *Renewable Energy* 57 (2013): 289-98.

Száz, D., D. Mihályi, A. Farkas, A. Egri, A. Barta, G. Kriska, B. Robertson, et G. Horváth. « Polarized light pollution of matte solar panels: anti-reflective photovoltaics reduce polarized light pollution but benefit only some aquatic insects ». *Journal of Insect Conservation* 20, nº 4 (2016): 663-75.

Tanner, K.E., K.A. Moore, et B.M. Pavlik. « Measuring impacts of solar development on desert plants ». *Fremontia* 42, nº 2 (2014): 15-16.

Terzioğlu, Hakan, Fatih Kazan, et Mustafa Arslan. « A New Approach to The Installation of Solar Panels », 2015. https://doi.org/10.1109/ICISCE.2015.133.

Toral, Gregorio M., et Jordi Figuerola. « Unraveling the importance of rice fields for waterbird populations in Europe ». *Biodiversity and Conservation* 19, nº 12 (1 novembre 2010): 3459-69. https://doi.org/10.1007/s10531-010-9907-9.

Tsoutsos, T., N. Frantzeskaki, et V. Gekas. « Environmental impacts from the solar energy technologies ». *Energy Policy* 33 (2005): 289-96. https://doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00241-6.

Turney, D., et V. Fthenakis. « Environmental impacts from the installation and operation of large-scale solar power-plant ». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 (2011): 3261-70.

Visser, E. « The impact of South Africa's largest photovoltaic solar energy facility on birds in the Northern Cape, South Africa ». Dissertation degree of Masters of Science in Conservation Biology, University of Cape Town, South Africa, 2016.

Walston, Leroy J., S.K. Mishra, H.M. Hartmann, I. Hlohowskyj, J. McCall, et J. Macknick. « Examining the Potential for Agricultural Benefits from Pollinator Habitat at Solar Facilities in the United States ». *Environmental Science & Technology* 52 (2018): 7566-76. https://doi.org/10.1021/acs.est.8b00020.

Walston, Leroy J., Katherine E. Rollins, Kirk E. LaGory, Karen P. Smith, et Stephanie A. Meyers. « A preliminary assessment of avian mortality at utility-scale solar energy facilities in the United States ». *Renewable Energy* 92 (1 juillet 2016): 405-14. https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.02.041.

Wybo, Jean-Luc. « Large-scale photovoltaic systems in airports areas: safety concerns ». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 21 (1 mai 2013): 402-10. https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.009.